

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3323055号
(P3323055)

(45) 発行日 平成14年9月9日(2002.9.9)

(24) 登録日 平成14年6月28日(2002.6.28)

(51) Int.Cl.

H 0 1 L 21/768
21/285

識別記号

3 0 1

F I

H 0 1 L 21/286

21/90

C

3 0 1 R

M

請求項の数6(全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平8-81541

(22) 出願日

平成8年4月3日(1996.4.3)

(65) 公開番号

特開平9-275138

(43) 公開日

平成9年10月21日(1997.10.21)

審査請求日

平成12年2月1日(2000.2.1)

前置審査

(73) 特許権者 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者

松能 正

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地

株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人

100058479

弁理士 鈴江 武彦

審査官

菅野 智子

(56) 参考文献

特開 平8-222634 (J P, A)

特開 平9-306988 (J P, A)

特開 平8-306775 (J P, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に形成された3.9未満の比誘電率を有する層間絶縁層と、この層間絶縁層に形成された溝に埋め込まれるように形成されている金属配線層とを具備する半導体装置において、前記層間絶縁層と前記金属配線層との間に前記層間絶縁層とは異なる材料の絶縁層を具備し、この絶縁層は前記金属配線層の前記絶縁層と接触する表面を構成する金属と反応しない材料で構成され、且つ炭素の含有率が前記層間絶縁層のそれに比べて低い材料から構成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記絶縁層は、非有機系の絶縁膜により構成され、且つプラズマ密度が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上の状態で形成された高密度プラズマCVD(化学気相成長)膜である請求項1記載の半導体装置。

2

【請求項3】 半導体基板上に形成された3.9未満の比誘電率を有する層間絶縁層と、この層間絶縁層に形成された溝に埋め込まれるように形成されている金属配線層とを具備する半導体装置において、前記層間絶縁層と前記金属配線層との間に前記層間絶縁層とは異なる材料の絶縁層を具備し、この絶縁層は前記金属配線層の前記絶縁層と接触する表面を構成する金属と反応しない材料で構成され、前記金属配線層は、銅を含有する金属膜と、この金属膜と前記絶縁層との間に形成されている高融点金属を含有するバリアメタル層とにより構成されることを特徴とする半導体装置。

【請求項4】 半導体基板上に3.9未満の比誘電率を有する層間絶縁層を形成する工程と、この層間絶縁層に溝を形成する工程と、この溝の少なくとも内壁面上に前記層間絶縁層とは異なる材料により絶縁層を形成する工

3

程と、この絶縁層上に高融点金属膜を形成する工程と、この高融点金属膜上に前記溝の内部を完全に充填するように金属配線材料膜を形成する工程と、前記溝以外の領域に形成された前記金属配線材料膜と前記高融点金属膜とを除去して前記溝の内部に前記絶縁層と前記高融点金属膜とを介して前記金属配線材料膜を埋め込む工程とを具備し、この絶縁層は前記高融点金属膜と反応しない材料により形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項5】 前記絶縁層は炭素の含有率が前記層間絶縁層のそれに比べて低い材料により形成する請求項4記載の半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記絶縁層は、プラズマ密度が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高密度プラズマCVD（化学気相成長）法により形成する請求項4または5記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えばCu等を用いた金属配線技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 高集積回路等の半導体装置において、配線技術は、トランジスタ等の素子開発と同様に、非常に重要な技術である。Cuは、従来最も頻繁に用いられているAlに比べて、抵抗が小さく、また、大電流を流した場合にもエレクトロマイグレーション等の問題が発生しにくいことから、信頼性が高いという特性を有している。このため、Cuを配線材料として用いる試みが近年さかんに行われている。

【0003】 しかし、CuまたはCuを含有する金属を配線材料として用いた場合に、Cuが層間絶縁層中に拡散し、この拡散したCuに起因して、配線間において電流がリークするという問題がある。このため、このようなCuの拡散を防止するために、例えばTiまたはW等の高融点金属を含有する金属をバリアメタル層としてCu配線と層間絶縁層の間に使用する必要がある。

【0004】 図4に、従来のCuを用いた配線の一例を示す。半導体基板1上に層間絶縁層2を介してCuにより構成された配線層6が形成されている。この配線層6は、例えば層間絶縁層2に形成された溝3の内部に埋め込まれるように形成されている。また、配線層6と層間絶縁層2の間には例えばTiN等の高融点金属膜によりバリアメタル層5が形成されている。このバリアメタル層5は、例えば溝3を開口した後に、配線層6を溝の内部に埋め込む前に、溝3の内壁面に形成することができる。また、配線層6上にはバリアメタル層は形成されていないが、例えばSiN等の緻密な絶縁膜8を形成することにより、Cuの拡散を防止することができる。

【0005】 一方、近年の半導体装置の高集積化により、配線層6の間の間隔は短縮される傾向にあり、これ

(2)

特許3323055

4

らの配線層6の間の容量成分の増加の影響を低減するために、層間絶縁層2として低誘電率の絶縁膜を使用する必要が生じてきている。

【0006】 ここで、F（弗素）を酸化膜（ SiO_2 ）に添加することにより、この酸化膜の誘電率を酸化膜の3.9より例えば3～3.5程度まで低減できることが知られている。このため、層間絶縁層2として、例えばプラズマCVD（化学気相成長）法を用いて、F含有の酸化膜を形成する方法が試みられている。

【0007】 しかし、層間絶縁層2中に含有されているFは、特にTi等のバリアメタル層5を構成する金属と反応しやすいという性質を有している。このため、バリアメタル層5のバリア性が劣化して、Cuが層間絶縁層2中に拡散するという問題が生じる。

【0008】 また、プラズマCVDにより形成されたF含有の酸化膜は、 Si-O 、 Si-F 結合基のみでなく、例えば Si-C 、 F_y 、 Si-H 、 F_y 、 Si-OH 結合基等により構成されている。ここで、 Si-F 、 Si-C 、 F_y 、 Si-H 、 F_y 、 Si-OH 結合は、 Si-O 結合に比べて結合エネルギーが低い。このため、例えば熱処理等によるエネルギーが加わると、 -F 、 -C 、 F_y 、 -H 、 F_y 、 -OH は、容易にバリアメタル層5と反応する。これにより、前述の問題と同様に、バリアメタル層5のバリア性が劣化するという問題が生じる。

【0009】 また、低誘電率の層間絶縁層材料として、例えばSOG（Spin On Glass）等の有機系絶縁膜材料を用いることも可能であるが、前述のF含有の酸化膜と同様に、この絶縁膜もバリアメタル層5を構成する金属膜と簡単に反応するため、Cuが層間絶縁層2中へ拡散するという問題が生じる。

【0010】 さらに、低誘電率の層間絶縁層材料として、例えば CO_2 等の気体により配線層6間を充填する方法も考案されている。これは、例えば固体炭素による層間絶縁層2を介して配線層6を形成した後に、例えば酸素プラズマ雰囲気中の処理または酸素雰囲気中の熱処理等により、この固体炭素を気化させる方法である。この場合には、気体中にCuが拡散する可能性はないが、気体を封止するために層間絶縁層の上下面に絶縁膜を形成する必要があり、この絶縁膜と配線層とが接触する構造となる。このため、この接触面から絶縁膜中にCuが拡散し、他の配線層に電流がリークする可能性が生じる。

【0011】 また、製造工程中に例えば原料ガスからCが層間絶縁層中へ混入し、Cを含有する結合基を形成する可能性がある。ここで、このCを含有する結合基も、前述のFを含有する結合基と同様に、バリアメタル層5を構成する金属と簡単に反応するため、バリアメタル層5のバリア性が劣化するという問題が生じる。

【0012】

(3)

特許3323055

5

【発明が解決しようとする課題】このように、従来の半導体装置およびその製造方法では、Cuを含有する金属を配線層として用い、低誘電率の絶縁物を層間絶縁層として用いた場合に、Cuの層間絶縁層中への拡散を防止するバリアメタル層と層間絶縁層材料とが反応して、バリアメタル層のバリア性を劣化させるという問題があった。

【0013】本発明の目的は、バリアメタル層と低誘電率の層間絶縁層とが直接接触することを防止することにより、配線層中のCuが層間絶縁層へ拡散することを防止することができる半導体装置およびその製造方法を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決し目的を達成するために、本発明による半導体装置は、半導体基板上に形成された3.9未満の比誘電率を有する層間絶縁層と、この層間絶縁層に形成された溝に埋め込まれるように形成されている金属配線層とを具備する半導体装置において、前記層間絶縁層と前記金属配線層との間に層間絶縁層とは異なる材料の絶縁層を具備し、この絶縁層は前記金属配線層の絶縁層と接触する表面を構成する金属と反応しない材料で構成されていることを特徴とする。

【0015】また、上記の半導体装置において、前記絶縁層は弗素の含有率が前記層間絶縁層のそれに比べて低い材料から構成されていることも可能である。さらに、前述の半導体装置において、前記絶縁層は炭素の含有率が前記層間絶縁層のそれに比べて低い材料から構成されていることも可能である。

【0016】また、前述の半導体装置において、前記絶縁層は非有機系の絶縁膜により構成されることも可能である。また、前述の半導体装置において、前記非有機系の絶縁膜は、プラズマ密度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 以上の状態で形成された高密度プラズマCVD（化学気相成長）膜であることも可能である。

【0017】また、前述の半導体装置において、前記金属配線層は、銅を含有する金属膜により構成されることも可能である。また、前述の半導体装置において、前記金属配線層は、銅を含有する金属膜と、この金属膜と前記絶縁層との間に形成されている高融点金属を含有するバリアメタル層とにより構成されることも可能である。

【0018】また、前述の半導体装置において、前記層間絶縁層は、SiF結合基を含有する絶縁膜により構成されることも可能である。また、前述の半導体装置において、前記層間絶縁層は、有機系の絶縁膜により構成されることも可能である。

【0019】また、前述の半導体装置において、前記層間絶縁層は、配線層間に封止された気体により構成され、前記絶縁層は前記金属配線層を覆うように構成されることも可能である。

6

【0020】また、本発明による半導体装置の製造方法は、半導体基板上に3.9未満の比誘電率を有する層間絶縁層を形成する工程と、この層間絶縁層に溝を形成する工程と、この溝の少なくとも内壁面上に前記層間絶縁層とは異なる材料により絶縁層を形成する工程と、この絶縁層上に前記溝の内部を完全に充填するように金属配線材料膜を形成する工程と、前記溝以外の領域に形成された前記金属配線材料膜を除去して前記溝の内部に前記絶縁層を介して前記金属配線材料膜を埋め込む工程とを具備し、この絶縁層は前記金属配線層の絶縁層と接触する表面を構成する金属と反応しない材料により形成することを特徴とする。

【0021】また、本発明による半導体装置の製造方法は、半導体基板上に3.9未満の比誘電率を有する層間絶縁層を形成する工程と、この層間絶縁層に溝を形成する工程と、この溝の少なくとも内壁面上に前記層間絶縁層とは異なる材料により絶縁層を形成する工程と、この絶縁層上に高融点金属膜を形成する工程と、この高融点金属膜上に前記溝の内部を完全に充填するように金属配線材料膜を形成する工程と、前記溝以外の領域に形成された前記金属配線材料膜と前記高融点金属膜とを除去して前記溝の内部に前記絶縁層と前記高融点金属膜とを介して前記金属配線材料膜を埋め込む工程とを具備し、この絶縁層は前記高融点金属膜と反応しない材料により形成することを特徴とする。

【0022】さらに、前述の半導体装置の製造方法において、前記絶縁層は弗素の含有率が前記層間絶縁層のそれに比べて低い材料により形成することも可能である。また、前述の半導体装置の製造方法において、前記絶縁層は炭素の含有率が前記層間絶縁層のそれに比べて低い材料により形成することも可能である。

【0023】また、前述の半導体装置の製造方法において、前記絶縁層は、プラズマ密度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高密度プラズマCVD（化学気相成長）法により形成することも可能である。

【0024】このように、本発明による半導体装置では、層間絶縁層と金属配線層との間に層間絶縁層とは異なる材料の絶縁層を具備しており、この絶縁層は金属配線層の絶縁層と接触する表面を構成する金属と反応しない材料で構成されているため、金属配線層中の表面を構成する金属と簡単に反応する結合基を含有する層間絶縁層と金属配線層とが直接接触している場合に比べて、金属配線層の表面を構成する金属が反応することを抑制することができる。

【0025】また、弗素の含有率が層間絶縁層のそれに比べて少ない材料により絶縁層が構成されている本発明による半導体装置では、弗素を含む結合基と金属配線層の絶縁層と接触する表面を構成する金属とが反応することを、層間絶縁層が金属配線層に直接接触している場合に比べて抑制することができる。

50

7

【0026】また、同様に炭素の含有率が層間絶縁層のそれに比べて少ない材料により絶縁層が構成されている本発明による半導体装置では、炭素を含む結合基と金属配線層の絶縁層と接触する表面を構成する金属とが反応することを、層間絶縁層が金属配線層に直接接触している場合に比べて抑制することができる。

【0027】また、炭素または弗素の含有率の低い絶縁膜は、一般に欠陥密度が少ない。このため、このような絶縁膜により構成される絶縁層と金属配線層とが接触するように構成された本発明の半導体装置では、金属配線層から絶縁層中へC uが拡散する可能性を低減することができる。

【0028】また、絶縁層は非有機系の絶縁膜により構成される本発明による半導体装置では、非有機系の絶縁膜は有機系の絶縁膜に比べて、一般に金属と反応する結合基の含有量が少ないため、金属配線層と反応することを防止することができる。

【0029】また、この非有機系の絶縁膜が、プラズマ密度が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上の状態で形成された高密度プラズマCVD（化学気相成長）膜である本発明による半導体装置では、一般に、高密度プラズマCVD膜は炭素または弗素を含む不安定な結合基の含有量が少なく、また、欠陥密度が低いいため、金属配線層とこの絶縁層との反応を抑制することができる。

【0030】さらに、金属配線層は、銅を含有する金属膜と、この金属膜と前記絶縁層との間に形成されている高融点金属を含有するバリアメタル層とにより構成される本発明による半導体装置では、高融点金属膜は銅の拡散を防止することができるため、この高融点金属膜を含むバリアメタル層により、銅を含有する金属膜から層間絶縁層中へ銅が拡散することを防止することができる。また、一般に、高融点金属膜と層間絶縁層中に含まれる例えば弗素または炭素等を含有する結合基とは反応しやすいため、この層間絶縁層とバリアメタル層との間に弗素または炭素の含有量の少ない絶縁層を構成することにより、高融点金属膜の反応を抑制することができる。このようにして、バリアメタル層のバリア性を保持し、銅が層間絶縁層中へ拡散することを防止することができる。

【0031】また、層間絶縁層が、S i F結合基を含有する絶縁膜により構成される本発明による半導体装置では、S i F結合基を含有する絶縁膜の比誘電率は3.9未満であるため、層間絶縁層の比誘電率を3.9未満とすることができる。ここで、S i F結合基は例えば高融点金属膜等の金属膜と反応しやすいため、例えばバリアメタル層のバリア性を劣化させる可能性がある。しかし、本発明の半導体装置では、バリアメタル層等の金属配線層とS i F結合基を含有する絶縁膜により構成される層間絶縁層との間に、炭素または弗素の含有量の少ない絶縁層を構成するため、金属とS i F結合基等の不安

(4)

特許3323055

8

定な結合基との反応を抑制することができる。このようにして、バリアメタル層のバリア性を保持し、金属配線層中の金属が層間絶縁層中へ拡散することを防止することができる。

【0032】また、層間絶縁層は、有機系の絶縁膜により構成される本発明による半導体装置では、有機系の絶縁膜の比誘電率は3.9未満であるため、層間絶縁層の比誘電率を3.9未満とすることができる。ここで、有機系の絶縁膜は、種々の不安定な結合基を含有しているため、この不安定な結合基と金属配線層を構成する金属とが反応して、例えばバリアメタル層のバリア性を劣化させる可能性がある。しかし、本発明の半導体装置では、バリアメタル層等の金属配線層と有機系の絶縁膜により構成される層間絶縁層との間に、炭素または弗素の含有量の少ない絶縁層を構成するため、金属と不安定な結合基との反応を抑制することができる。このようにして、バリアメタル層のバリア性を保持し、金属配線層中の金属が層間絶縁層中へ拡散することを防止することができる。

【0033】さらに、層間絶縁層は、配線層間に封止された気体により構成される本発明による半導体装置では、気体の比誘電率は3.9未満であるため、層間絶縁層の比誘電率を3.9未満とすることができる。ここで、配線層間に気体を封止するために、層間絶縁層の上下面に絶縁膜を構成する必要があるため、この絶縁膜と金属配線層とが接触する構造となる。このため、金属配線層中の金属がこの接触面から絶縁膜中へ拡散する可能性がある。しかし、本発明の半導体装置では、金属配線層を覆うように、弗素または炭素の含有量の少ない絶縁層を構成しており、一般に弗素または炭素の含有量の少ない絶縁層は欠陥密度が小さいため、金属配線層中の金属が拡散することを抑制することができる。このようにして、金属配線層の間のリーク電流を低減することができる。

【0034】また、本発明による半導体装置の製造方法では、半導体基板上の3.9未満の比誘電率を有する層間絶縁層に溝を形成した後に、この溝の少なくとも内壁上に層間絶縁層と異なる材料により絶縁層を形成し、この絶縁層上に溝の内部を完全に充填するように金属配線材料膜を形成した後に、溝以外の領域に形成された金属配線材料膜を除去して溝の内部に絶縁層を介して金属配線材料膜を埋め込むことにより、金属配線層と層間絶縁層との間に層間絶縁層と異なる材料の絶縁層を形成することができる。

【0035】また、この絶縁層は金属配線層の絶縁層と接触する表面を構成する金属と反応しない材料により形成するため、このような絶縁層を形成せずに、層間絶縁層と金属配線層とを直接接触させる従来の製造方法に比べて、金属配線層中の表面を構成する金属と層間絶縁層中の不安定な結合基とが反応することを抑制することが

9

できる。

【0036】また、この絶縁層は層間絶縁層に比べて炭素の含有率が低い材料により形成する本発明の半導体装置の製造方法では、層間絶縁層と金属配線層とが直接接触するように形成する従来の製造方法に比べて、金属配線層を構成する金属が炭素を含有する不安定な結合基と反応することを抑制することができる。このようにして、金属配線層を構成する金属のバリア性を保持し、金属配線層中の金属が層間絶縁層中へ拡散することを防止することができる。

【0037】また、この絶縁層は層間絶縁層に比べて弗素の含有率が低い材料により形成する本発明の半導体装置の製造方法では、上記の炭素の場合と同様に、層間絶縁層と金属配線層とが直接接触するように形成する従来の製造方法に比べて、金属配線層を構成する金属が弗素を含有する不安定な結合基と反応することを抑制することができる。このようにして、金属配線層を構成する金属のバリア性を保持し、金属配線層中の金属が層間絶縁層中へ拡散することを防止することができる。

【0038】また、本発明の半導体装置の製造方法では、半導体基板上の3.9未満の比誘電率を有する層間絶縁層に溝を形成した後に、この溝の少なくとも内壁上に層間絶縁層とは異なる材料の絶縁層を形成し、この絶縁層上に高融点金属膜を形成し、この高融点金属膜上に溝の内部を完全に充填するように金属配線材料膜を形成した後に、溝以外の領域に形成された金属配線材料膜と高融点金属膜とを除去して溝の内部に絶縁層と高融点金属膜とを介して金属配線材料膜を埋め込むことにより、高融点金属膜と層間絶縁層との間に層間絶縁層と異なる材料により絶縁層を形成することができる。

【0039】また、この絶縁層は高融点金属膜と反応しない材料により形成するため、このような絶縁層を形成せずに、層間絶縁層と高融点金属膜とを直接接触させる従来の製造方法に比べて、高融点金属膜と層間絶縁層中の不安定な結合基とが反応することを抑制することができる。このようにして、高融点金属膜のバリア性を保持し、金属配線材料中の金属が層間絶縁層中へ拡散することを防止することができる。

【0040】また、この絶縁層を層間絶縁層に比べて炭素の含有率が低い材料により形成する本発明の半導体装置の製造方法では、層間絶縁層と高融点金属膜とが直接接触するように形成する従来の製造方法に比べて、高融点金属膜が炭素を含有する不安定な結合基と反応することを抑制することができる。このようにして、高融点金属膜のバリア性を保持し、金属配線材料中の金属が層間絶縁層中へ拡散することを防止することができる。

【0041】また、この絶縁層を層間絶縁層に比べて弗素の含有率が低い材料により形成する本発明の半導体装置の製造方法では、上記の炭素の場合と同様に、層間絶縁層と高融点金属膜とが直接接触するように形成する従

(5)

特許3323055

10

来の製造方法に比べて、高融点金属膜が弗素を含有する不安定な結合基と反応することを抑制することができる。このようにして、高融点金属膜のバリア性を保持し、金属配線材料中の金属が層間絶縁層中へ拡散することを防止することができる。

【0042】また、絶縁層は、プラズマ密度が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上的高密度プラズマCVD（化学気相成長）法により形成される本発明による半導体装置の製造方法では、高密度プラズマ状態により、絶縁膜を生成するための原料ガスの大部分が非常に単純なイオンに分解または励起されるため、これにより生成された絶縁膜に含有される結合基は大部分が非常に安定した状態となる。これにより、従来のプラズマ密度が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 未満のプラズマCVD法により形成された絶縁膜に比べて、上記のような方法により形成された絶縁膜は、炭素および弗素を含む不安定な結合基の含有率を低減することができる。

【0043】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態による半導体装置の構造を示す断面図である。図1の(a)は、1層の配線層を有する半導体装置の場合、図1の(b)は2層の配線層を有する場合について示している。

【0044】この図に示すように、本実施の形態による半導体装置では、従来と同様に、半導体基板1上の層間絶縁層2に例えばCuまたはAlとCuの合金等、Cuを含有する金属により構成される配線層6が埋め込まれ、溝埋め込み型の配線層構造を構成している。また、ここには図示されていないが、半導体基板1上には例えばトランジスタ等の半導体素子が形成されており、層間絶縁層2によりこれらの半導体素子と配線層6とが分離されている。この層間絶縁層2は、従来と同様に、例えばFを含有する酸化膜等の低誘電率の絶縁膜により構成されている。また、この配線層6中のCuが層間絶縁層2中に拡散することを防止するために、配線層6と層間絶縁層2との間に、例えばTiN等によりバリア金属層5が形成されている。

【0045】さらに、バリア金属層5と層間絶縁層2とが直接接触していた従来の半導体素子と異なり、本実施の形態による半導体装置では、バリア金属層5と層間絶縁層2との間に、例えば50nm程度の膜厚の絶縁層4が形成されている。この絶縁層4は、CまたはFの含有率が層間絶縁層2のそれより低い、例えば酸化膜またはSiN等の絶縁膜により構成されている。

【0046】また、本実施の形態では、配線層6上にも絶縁層4と同様にCまたはFの含有率の低い絶縁膜により、例えば膜厚が50nm程度の絶縁層7が形成されている。

【0047】このように、本実施の形態による半導体装

50

11

置では、バリアメタル層5と層間絶縁層2との間に、層間絶縁層2とは異なる材料の絶縁層4が形成されており、この絶縁層4は、CまたはFの含有率が、層間絶縁層2のそれより低い絶縁膜により構成されていることが特徴である。

【0048】一般に、CまたはFの含有率の低い絶縁膜は、絶縁膜中の欠陥密度が低いため、バリアメタル層5を構成する例えばTiN等の金属と簡単に反応しにくい。このため、CまたはFの含有率が高い層間絶縁層2とバリアメタル層5とが直接接触していた従来の半導体装置に比べて、バリアメタル層と絶縁膜との反応を抑制することができる。さらに、この絶縁膜の成膜にHDP CVDを用いることにより、より欠陥数の少ない安定な膜を得ることができる。このため、バリアメタル層5のバリア特性を保持して、配線層6中のCuが層間絶縁層2中へ拡散することを防止することができる。このようにして、層間絶縁層2中に拡散したCuに起因して、配線層6の間において電流がリークすることを防止することができる。

【0049】なお、この絶縁層4の膜厚は、層間絶縁層2とバリアメタル層5との反応を防止できる程度であれば良く、必要とされる最低膜厚は、絶縁層4の膜質と、バリアメタル層5を形成した後の熱工程の温度により影響される。絶縁層4の膜質が良い程、熱処理温度が低い程、絶縁膜4の膜厚を薄くすることができる。例えば、バリアメタル層5を形成した後に、Cuをスパッタまたは溶融等により形成する場合には、例えば550℃程度の熱処理が必要となるが、CuをCVD法により形成する場合には、例えば350℃程度の温度でCVDを行うため、絶縁層4の膜厚を薄くすることができる。

【0050】一方、高集積化により溝3の幅は狭くなる傾向にある。ここで、幅の狭い溝3の内部に形成される配線層6の抵抗の増加を防止するために、配線層6の幅を確保する必要がある。このため、絶縁層4の膜厚は薄い方が望ましい。

【0051】また、図1の(b)に示すような、2層以上の配線層を有する多層配線構造においても、前述の構造の配線層を層間絶縁層2を介して積み重ねることにより、本発明を適用することができる。

【0052】図2は、上記のような構造を実現するための本発明による半導体装置の製造方法の実施の形態を示す断面図である。まず、通常の方法により、半導体基板1上に例えばMOSFET等の半導体素子を形成する。次に、半導体素子上に、低誘電率の層間絶縁層として、例えば弗素を含有するプラズマCVD膜2を、例えば0.8μm堆積する。

【0053】ここで、本発明における低誘電率とは、熱酸化膜の比誘電率3.90より低い比誘電率を示すものとする。また、このような弗素を弗素を含有するプラズマCVD膜2は、例えばTEOS (Tetraethylortho-sil

(6)

特許3323055

12

icate)とO₂を原料ガスとし、これに例えばC₂F₆ガスを混入して、例えば平行平板型のプラズマ装置を用いて、形成することができる。このようにして形成された絶縁膜は、例えば3.6の比誘電率を有する。

【0054】また、上記のTEOSに代えて例えばSiH₄を、O₂に代えてO₃を原料ガスとして用いることも可能である。また、Fを添加するために用いられるガスは、C₂F₆のみでなく、例えばNF₃、CF₄、C₄F₈、SiF₄等のガスを用いることもできる。また、例えばSiF₄ガスとO₂ガスの混合ガスを用いることも可能である。さらに、成膜装置としては、上記の平行平板型のプラズマCVD装置の他に、例えばECR (Electron Cyclotron Resonance)、Helicon (Helicon Wave Excited Plasma)、ICP (Inductively Coupled Plasma)等の高密度のプラズマ発生装置を備えた成膜装置を用いることも可能である。この場合、成膜時にバイアスエッチング成分を持たせる目的でAr等の不活性ガスを添加することもある。

【0055】次に、通常のリソグラフィ法と例えばRIE (反応性イオンエッチング)等のエッチング技術を用いて、配線領域に溝3を形成して、図2の(a)に示すような構造とする。なお、図1と同様に、この図では、半導体基板1上のトランジスタ等の半導体素子は省略してある。

【0056】ここで、溝3に露出している側壁面および底面には、従来と同様に、Si-Fまたは-C₂F₅、-H₂F₂、-OH等の不安定な結合基が含まれている。この後、この不安定な結合基を含む溝3の側壁面および底面上にバリアメタル層を直接形成していた従来と異なり、本実施の形態では、図2の(b)に示すように、溝3の側壁面および底面上に、層間絶縁層2に比べてCおよびFの含有率が低い絶縁層4を例えば50μmの膜厚で形成する。このような絶縁層4は、例えばICP型の高密度プラズマ装置を用いて、SiH₄、O₂を原料ガスとして形成することができる。また、高密度プラズマ装置として、例えばECR、Helicon等を用いることも可能である。なお、このようにして絶縁層4を形成した場合、一般に、層間絶縁層2上に形成される膜厚に比べて溝の内壁面に形成される膜厚は薄くなる傾向がある。

【0057】次に、図2の(c)に示すように、バリアメタル層として、例えばTiNまたはWSiN等の高融点金属を含有する金属膜5を、例えば30nm程度の膜厚で絶縁層4上に形成する。さらに、例えばCuまたはAl-Cu等のCuを含有する配線材料6を、例えば250℃以上の高温スパッタ法等の成膜技術を用いて、溝3の内部が完全に充填されるように、例えば1.0ミクロン程度形成する。

【0058】この配線材料6は、上記のスパッタ法以外に、例えばレーザを用いて配線領域の温度を選択的に上

(7)

特許3323055

13

昇させる方法、または、高圧チャンバ内で熱処理を行う方法等により、溝3の内部に充填させることができる。

【0059】この後、例えばCMP法等の技術を用いて、層間絶縁層2上のバリアメタル層5および配線材料6を除去し、溝3の内部に残存する配線材料6の表面の高さと層間絶縁層2の表面の高さとがほぼ等しくなるように、配線材料6を研磨して溝3の内部に配線層を形成する。この時、層間絶縁層2上の絶縁層4を、すべて研磨することも残存させることも可能である。

【0060】さらに、図1の(a)に示すように、この平坦化された層間絶縁層2と配線層6上に、例えば絶縁層4と同様にして、例えばSiO₂またはSiN等の第2の絶縁層7を例えば50nm程度形成して、溝埋め込み型金属配線が完成する。

【0061】この後は、必要に応じて、前述の工程を繰り返すことにより、図1の(b)に示すような、2層以上の配線層を有する半導体装置を形成することができる。このように、本実施の形態による半導体装置の製造方法では、高密度プラズマ装置を用いることにより、バリアメタル層5と層間絶縁層2との間に絶縁層4を形成することが特徴である。

【0062】一般に、高密度プラズマ装置を用いた場合には、原料ガスの大部分を非常に単純な構造のイオンに分解することができる。このため、このような単純なイオンにより形成された酸化膜では、Si原子の端が活性な結合基の状態で終端する可能性が低くなる。これにより、高密度プラズマ装置を用いない場合に比べて、より安定なSi-O結合基を有する構造になる。このため、例えば層間絶縁層2に比べて、CまたはFの含有率が小さい絶縁膜を形成することができる。また、このようにCまたはFの含有率が小さい絶縁膜は、一般に、欠陥密度が非常に低くなる。このため、従来の方法により形成された絶縁膜に比べて、バリアメタル層5とは簡単に反応しにくい。このようにして、バリアメタル層5のバリア性を保持することが可能となり、Cuが層間絶縁層2中に拡散することを防止することができる。

【0063】また、上記の実施の形態では、Fを含有した酸化膜により、低誘電率の層間絶縁層2を形成しているが、層間絶縁層2として例えば有機系の絶縁膜を用いることにより、低誘電率化した場合にも、本発明の構造の配線層を適用することが可能である。有機系の絶縁膜とは、OまたはSi等を有機溶剤に溶解したもので、これを半導体基板上に塗布した後に、熱処理を加えることにより有機溶剤を除去して、絶縁膜が形成される。

【0064】ここでは、例えば膜厚0.8μmのSiO₂を回転塗布した後、例えば400℃のN₂雰囲気中において約30分程度の熱処理を行うことにより、層間絶縁層2を形成することができる。

【0065】この後は、前述の実施の形態と同様にし、この層間絶縁層2に溝を形成した後に、溝の内壁面

14

に例えば高密度プラズマ装置を用いて、FまたはCの含有量の低い絶縁膜を形成することにより、層間絶縁層2とバリアメタル層5とが直接触れないようにすることができる。

【0066】一般に、有機系の絶縁膜は、活性な結合基を多く含んでいるため、バリアメタル層5を構成する金属と簡単に反応するが、本発明によれば、有機系の絶縁膜により構成される層間絶縁層2とバリアメタル層5との間に絶縁層4を形成することにより、これらが直接接触することを防止することができる。このようにして、バリアメタル層5が層間絶縁層2と反応することを防止して、バリア性を保持することができる。

【0067】さらに、低誘電率の層間絶縁層2として、例えばCOまたはCO₂等の気体により、配線層間を充填することも可能である。この場合には、例えばスパッタ技術を用いて固体のCを約0.8μmの膜厚に形成し、前述の実施の形態と同様に、溝3を形成し、この溝3の内壁面に、例えば高密度プラズマ装置を用いて、FまたはCの含有量の低い絶縁層4を形成する。さらに、前述の実施の形態と同様にバリアメタル層5および配線層6を形成し、この配線層6と層間絶縁層2との上に、絶縁層4と同様にして、第2の絶縁層7を形成する。

【0068】ここで、本実施の形態では、前述の実施の形態と異なり、例えば400℃のO₂雰囲気中において例えば60分程度の熱処理を行う。この熱処理により、第1の絶縁層4と第2の絶縁層7との間の固体Cを気化し、配線層間が、例えばO₂、CO、CO₂等により充填された状態とすることができる。なお、O₂プラズマ雰囲気中において例えば30分程度の処理を行うことにより、Cを気化させることも可能である。

【0069】このように配線層6間が気体により充填されている構造では、気体を封止するために、層間絶縁層の上下面に絶縁膜を形成する必要がある。このため、従来は、この絶縁膜と配線層6とが接触し、この接触面より絶縁膜中にCuが拡散することにより、配線層6間に電流がリークするという問題があった。これに対して、本実施の形態では、配線層6の周囲に欠陥密度の少ない絶縁層4で覆う構造となっているため、配線層6からCuが拡散することを防止して、配線層6間に電流がリークすることを防止することができる。

【0070】また、前述の実施の形態では、バリアメタル層5は溝3の内壁面のみに形成されており、配線層6の上面には形成されていない。これに対して、第2の実施の形態として、例えば図3に示すように、配線層6上にバリアメタル層5'を形成することも可能である。さらに、バリアメタル層5'上には、絶縁層4と同様にして、絶縁層7が形成されている。

【0071】このような構造は、例えばCMP法を用いて配線層6を溝3の内部に埋め込んだ後に、例えば選択

(8)

特許3323055

15

CVD法を用いて、例えばニオブ（Nb）等の高融点金属を配線層6上に選択的に形成することにより、製造することができる。

【0072】また、例えば上記と同様に配線層6を溝3の内部に埋め込んだ後に、例えば400～500℃の熱処理を行うことにより、溝の内壁面に形成されているバリアメタル層5から例えばW等の高融点金属を配線層6の表面に自己整合的に析出させることにより、製造することも可能である。

【0073】前述のように、一般的には、絶縁層7または8を緻密な絶縁膜により構成することにより、配線層6からのCuの拡散を防止することができるため、配線層6上にバリアメタル層を形成する必要はない。しかし、上記のように配線層6上にもバリアメタル層5を形成して、配線層6をバリアメタル層で完全に覆うように構成することにより、配線層6からのCuの拡散をより確実に防止することができる。

【0074】また、配線層6上のバリアメタル層5上に、さらに絶縁層7が形成されているため、例えば2層以上の配線層を有する多層配線構造において、バリアメタル層5を構成する金属とその上方の第2の層間絶縁層中に含まれる結合基とが反応して、バリアメタル層5のバリア性が劣化することを防止することができる。

【0075】また、前述の実施の形態では、配線層6の材料として、CuまたはCuを含有する金属を用いる場合について説明したが、抵抗が小さく、信頼性の高い材料であれば他の材料を用いることも可能である。

【0076】この場合に、配線層6を構成する材料が層間絶縁層2中に拡散しやすい場合には、前述の実施の形態と同様に、バリアメタル層5により配線層6を覆い、このバリアメタル層5と層間絶縁層2との間に層間絶縁層2とは異なる材料の絶縁層4を形成することにより、バリアメタル層5のバリア性を確保して、配線層6を構成する材料が層間絶縁層2中に拡散することを防止することができる。

【0077】また、配線層6がどのような材料で構成さ*

16

*れた場合にも、絶縁層4を欠陥密度の非常に小さい材料により形成することにより、配線層6を構成する材料が層間絶縁層2中に拡散することを防止することができる場合には、バリアメタル層5は必ずしも形成する必要はない。

【0078】なお、ここに示したように、前述の実施の形態において示した様々な構造および製造方法は、図1の（b）に示すような、多層配線構造に適用することが可能である。

【0079】

【発明の効果】このように、本発明による半導体素子およびその製造方法では、FまたはCの含有率の低い絶縁膜をバリアメタル層と低誘電率の層間絶縁層との間に形成して、バリアメタル層と低誘電率の層間絶縁層とが直接接触することを防止することにより、バリアメタル層のバリア性の劣化を防止し、配線層中のCuが層間絶縁層へ拡散することを抑制して、配線層間のリーク電流を低減することができる。また、配線層をFまたはCの含有率の低い絶縁膜により覆うことにより、配線層中のCuが層間絶縁膜を通して拡散することを防止し、配線層間のリーク電流を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による半導体装置の構造を示す断面図。

【図2】本発明による半導体装置の製造方法を示す断面図。

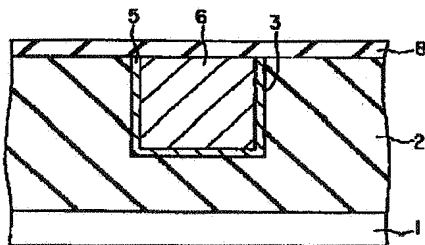
【図3】本発明の第2の実施の形態による半導体装置の構造を示す断面図。

【図4】従来の半導体装置の構造を示す断面図。

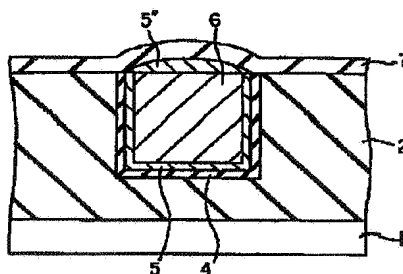
【符号の説明】

- 1…半導体基板、
- 2…層間絶縁層、
- 3…溝、
- 4、7…絶縁層、
- 5…バリアメタル層、
- 6…Cu配線層、
- 8…SiN層

【図4】



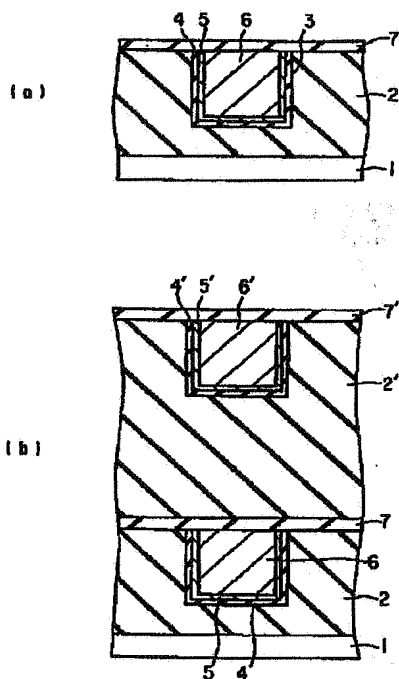
【図3】



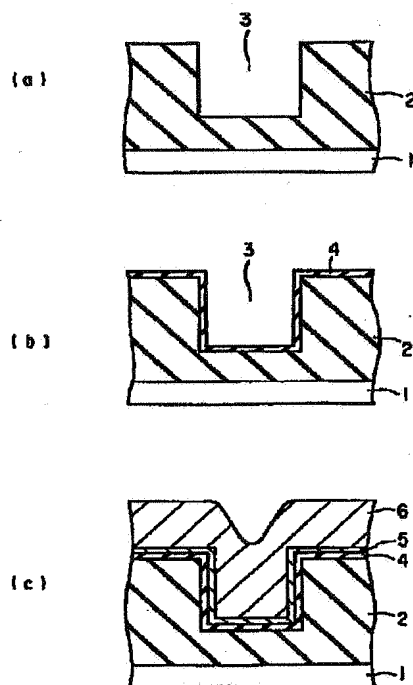
(9)

特許3323055

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/3205

H01L 21/321

H01L 21/3213

H01L 21/768